

근접장 광학현미경 및 시간 상관 단광자 계수법을 이용한

나노 구조물의 형광측정

Measurement of Fluorescence in Nanostructure using NSOM and TCSPC

안홍규, 김재혁, 이규승, 김대근, 박승한
연세대학교 물리학과
flyfoot@yonsei.ac.kr

최근 나노(10^{-9} m)미터 수준의 크기를 갖는 물질에 대한 연구가 활발히 진행되면서, 주사 터널링 현미경(Scanning Tunneling Microscope: STM), 투과 전자 현미경(Transmission Electron Microscope: TEM), 원자 현미경(Atomic Force Microscope: AFM), 근접장 주사 광학현미경(Near-field Scanning Optical Microscope: NSOM)등 나노 구조물을 볼 수 있는 다양한 기기들이 개발되었다. 특히, 근접장 광학 현미경의 경우 시료 표면 근처에 국소적으로 구속되어 있는 근접장 광신호를 검출하기 위하여 끝부분에 매우 작은 개구(>100nm)를 갖는 광섬유를 시료의 표면 근처에 위치시키고 시료에서 방출되는 빛을 수광함으로써, 기존 광학계가 가지고 있는 회절 한계 이상의 고분해능을 얻을 수 있고, 원거리장에서는 잃어버릴 수 있는 높은 주파수의 신호들을 효과적으로 수집할 수 있다. 이러한 근접장 주사 광학현미경을 이용하여 시료의 미세 구조를 영상화할 수 있으며, 분광학적 정보도 얻을 수 있으므로 양자 소자 특성평가, 고밀도 저장기기 등 여러 분야에 광범위하게 이용되고 있다.⁽¹⁾

한편, 시료에서 나오는 형광의 lifetime을 측정하기 위해서 사용한 시간 상관 단일 광자 계수법(Time Correlated Single Photon Counting : TCSPC)은 시료로부터 방출된 단일 광자의 확률 분포가 시료에서 방출되는 광세기의 시간적 분포와 동일하다는 사실에 근거를 두고 있으며, pump-probe, streak camera, frequency mixing법에 비해 상대적으로 시간 분해능이 떨어지는 단점이 있으나, 광 검출기로 광전자 증배관을 사용하므로 감도가 좋고 신호 대 잡음 비가 좋으며 넓은 동작 영역을 가지고 있는 장점이 있다.⁽²⁾

그림 1은 나노구조의 형광을 근접장에서 측정할 수 있도록 구성한 장치도이다. 프리즘을 이용하여 입사한 레이저 광이 모두 전반사 될 수 있도록 하고 시료에서 나오는 형광을 분광기를 이용하여 중심 파장을 찾아낸 후 형광의 중심 파장에서 시간 상관 단일 광자 계수 장치를 이용하여 측정하는 방식을 사용하였다. 이를 통해 형광 소멸 곡선을 구하고, 지수함수 최적화를 이용하여 계수를 구함으로써 시료의 형광 수명 시간을 계산할 수 있다.

TCSPC장치의 광원으로는 모드 동기된 402nm의 pico-second laser diode를 사용하였고, 레이저 펄스는 광분할기에 의해 두 경로로 나뉘어 한 경로의 레이저광은 광다이오드에 의해 전기적 펄스로 전환되어 시작신호(혹은 정지신호)로 사용된다. 다른 경로의 레이저 광은 시료를 여기시키게 되는데 이 때, 여기된 시료로부터 방출되는 형광은 분광기를 거쳐 고감도 검출기(MCP-PMT)에 의해 검출되어 전기적 펄스로 바뀐 후 정지신호(혹은 시작신호)로 입력되며, 시작신호로부터 정지신호 때까지 선형적으로

전압을 증가시켜 이에 비례하는 채널의 계수를 누적하게 되고, 이를 반복하면 시간에 비례하는 광자들의 확률분포를 알 수 있다.⁽³⁾

그림 2는 TCSPC 로 CdSe Quantum Dot의 형광을 측정 한 그래프로, IRF와 형광소멸곡선을 나타낸 것이다. 아래의 형광소멸곡선을 이용하여 구한 lifetime은 489.8ps으로 측정되었다. 이러한 방법을 이용하면, Quantum Dot 뿐만 아니라 다양한 나노구조물에 대해서도 근접장에서의 형광을 측정하고, 정확한 lifetime을 구하는 것이 가능할 것이라 기대된다.

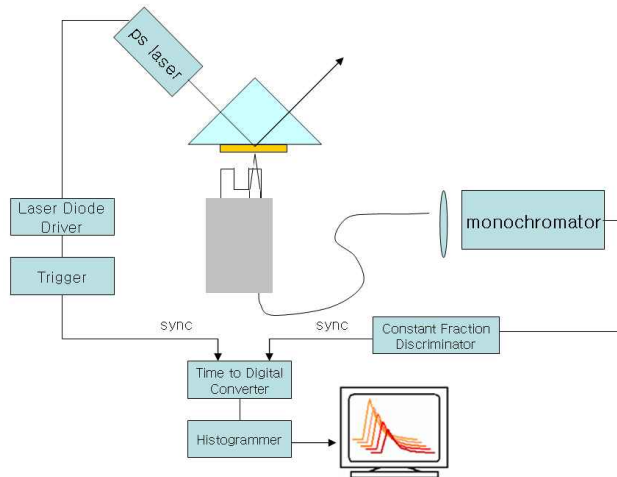


그림 1. 전반사를 이용한 근접장 형광 측정 장치도

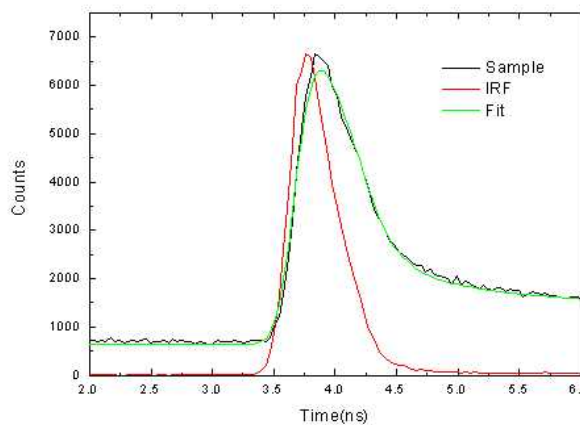


그림 2. TCSPC 로 측정 한 IRF와 형광소멸곡선 (CdSe QD)

참고문헌

1. Paras N. Prasad, “Nanophotonics”, Wiley-Interscience (2004).
2. D. V. O’Conner and D. Phillips, “Time correlated single photon Counting”, Academic Press, London (1984).
3. 박승환, “반도체의 비선형 분광학”, 한국광학회지 3, 280-287 (1992).